

Fortbewegungsmittel mit verbesserten StrömungseigenschaftenBeschreibung

Die Erfindung betrifft allgemein Fortbewegungsmittel und
5 insbesondere Fortbewegungsmittel, entlang deren Oberfläche
ein Medium strömt, wobei das Medium ein Gas, eine
Flüssigkeit oder ein Gemisch aus Gas und Flüssigkeit
umfassen kann.

10 Es ist bekannt, dass die Strömungseigenschaften eines
Fortbewegungsmittels, das sich in einem Medium bewegt, von
einer Reihe von Parametern abhängen. Hierzu gehören unter
anderen die Eigenschaften des Mediums, die Form des
Fortbewegungsmittels, sowie die Relativgeschwindigkeit von
15 Fortbewegungsmittel und Medium.

Insbesondere um den Strömungswiderstand zu reduzieren und
um andere negative Strömungseigenschaften so weit wie
möglich zu vermeiden, wird von Fahrzeugherstellern mit
20 großem Zeit- und Kostenaufwand die Geometrie von Fahrzeugen
immer weiter optimiert. Dies betrifft in unterschiedlichem
Maß sowohl Land-, Wasser- als auch Luftfahrzeuge. Jedoch
sind der Unterdrückung bestimmter negativer Strömungs-
effekte durch Anpassung der Fahrzeuggeometrie Grenzen
25 gesetzt.

Durch den Druckausgleich am hinteren Ende eines bewegten
Objekts entstehen beispielsweise sogenannte Schleppwirbel.
Auch bereits in der Übergangsphase zwischen laminaren und
30 turbulenten Strömungen kann es passieren, daß sich große
Schleppwirbel durch Abreißen der laminaren Strömung
bilden. Die Erzeugung solch unkontrollierter großer

Schleppwirbel erfordert Energie und führt daher zu einer erheblichen Bremswirkung.

5 Dies ist insbesondere ein Problem in der Luftfahrt, da solch große Wirbel für einen längeren Zeitraum stabil bestehen bleiben und dadurch nachfolgende Luftfahrzeuge beeinträchtigen können. Ebenso sind aber Schleppwirbel auch bei Land- und Wasserfahrzeugen zu beobachten.

10 Ein weiteres Problem ist die Bildung von Leewalzen bei Seitenwind. Hierbei handelt es sich um große Wirbel, die sich auf der windabgewandten Seite eines Objekts bilden. Durch den entstehenden Druckunterschied führt dies insbesondere bei Hochgeschwindigkeitszügen zu einer
15 erhöhten Kippgefahr des Zuges.

Weiterhin ist mit der Bildung turbulenter Wirbel in der Regel eine hohe Geräusch- und Vibrationsentwicklung verbunden.

20 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen neuen Weg aufzuzeigen, wie die Strömungseigenschaften eines Fortbewegungsmittels, das sich relativ zu einem umgebenden Medium bewegt, verbessert und die oben beschriebenen
25 nachteiligen Effekte vermindert werden können.

Die Aufgabe wird in überraschend einfacher Weise durch einen Gegenstand gemäß einem der anhängenden unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen und
30 Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen umschrieben. Die Erfinder haben überraschend herausgefunden, dass bei Fortbewegungsmitteln, deren Oberfläche zumindest teilweise eine spezielle dreidimensionale Oberflächenstruktur, wie sie in EP 92 911 873.5, PCT RU92/00106 und in
35 EP 96 927 047.9, PCT/EP96/03200 beschrieben wird, aufweist,

nicht nur der Strömungswiderstand reduziert ist, sondern auch weitere negative Strömungseffekte vermindert sind. Der Offenbarungsgehalt der EP 92 911 873.5, PCT RU92/00106 und der EP 96 927 047.9, PCT/EP96/03200 wird daher hiermit
5 ausdrücklich durch Referenz inkorporiert.

Dementsprechend umfasst ein erfindungsgemäßes Fortbewegungsmittel zumindest eine Oberfläche, die eine Strukturierung mit einer Vielzahl von Vertiefungen und/oder
10 Erhebungen aufweist, wobei bei Bewegung des Fortbewegungsmittels ein umgebendes Medium entlang dieser Oberfläche strömt.

Vorteilhaft ist die zumindest eine Oberfläche derart
15 ausgebildet, dass sich in der Nähe der Oberfläche Vortices in dem umgebenden Medium bilden, wenn das Medium an der Oberfläche entlang strömt.

Die Entstehung von Vortices in der Nähe der Oberfläche in dem umgebenden Medium durch eine erfindungsgemäße
20 Vertiefung lässt sich folgendermassen beschreiben. An der Vertiefung bildet sich zunächst eine Wirbelwalze im wesentlichen quer zur Strömungsrichtung. Da diese Wirbelwalze typischerweise eine nicht verschwindende
25 Helizität aufweist, wird das Medium an dem einen Ende in den Wirbel gesogen und an dem anderen Ende ausgestossen. Dies führt dazu, dass sich das letztgenannte Ende des Wirbels von der Oberfläche löst und von der Hauptströmung mitgerissen wird. Es bilden sich auf diese Weise Vortices,
30 die ausgehend von den Vertiefungen von der Oberfläche weg in Richtung Hauptströmung führen. Da der Druck innerhalb der Vortices geringer ist als in deren Umgebung, wird die Grenzschicht des Mediums in der Nähe der Oberfläche abgesogen und in die Hauptströmung geleitet. Jeder Wirbel
35 wirkt dadurch als eine Art Grenzschichtkontroller, der in

allen Richtungen der Umgebung das umgebende Medium in sich, auch gegen die regierende Strömungsrichtung, hineinsaugt. Dadurch werden in der Nähe der Oberfläche im Medium vorhandene ungeordnete Turbulenzen abgebaut.

5

Durch die beschriebene Bildung von Vortices wird der Strömungsabriss im Vergleich zu einer glatten Oberfläche entlang der Strömungsrichtung nach hinten verschoben, sowie die oben beschriebenen negativen Strömungseffekte wie Schleppwirbel- oder Leewalzenbildung reduziert. Die Reduzierung der Schleppwirbelbildung führt gleichzeitig auch zu einer Reduzierung des Gesamtwiderstandes.

Vorteilhaft weisen die Vertiefungen und/oder Erhebungen einen zweidimensional begrenzten Rand auf und sind besonders vorteilhaft im Bereich des Randes zum Rest der Oberfläche hin mit einem vorgegebenen Abrundungsradius abgerundet. Der Abrundungsradius kann dabei in unterschiedlichen Richtungen innerhalb der Ebene der Oberfläche einen unterschiedlichen Wert aufweisen.

Vorzugsweise weisen die Vertiefungen im wesentlichen die Form eines Abschnitts einer Kugel oder eines Ellipsoids auf, da diese Form herstellungstechnisch am einfachsten zu realisieren ist.

Die Form, Größe und Anordnung der Vertiefungen und/oder Erhebungen kann vorteilhafterweise auf unterschiedliche Strömungsbedingungen abgestimmt werden, die durch den Einsatzzweck des Fortbewegungsmittels vorgegeben werden. Um während der Benutzung eine flexible Anpassung der Oberflächenstruktur des Fortbewegungsmittels an unterschiedliche Bewegungszustände zu realisieren, umfasst das Fortbewegungsmittel vorteilhaft eine Einrichtung zum Variieren der Form und/oder der Anzahl der Vertiefungen

und/oder Erhebungen. Beispielsweise kann dies mittels flexibler Membranen erfolgen, wie dies in EP 96 927 047.9 beschrieben wird. Die EP 96 927 047.9 wird daher hiermit auch diesbezüglich ausdrücklich durch Referenz
5 inkorporiert.

In einer bevorzugten Ausführungsform sind die Vertiefungen und/oder Erhebungen zumindest abschnittsweise im wesentlichen periodisch auf der Oberfläche des
10 Fortbewegungsmittels angeordnet.

Um mit der Strukturierung eine möglichst vollständige Flächenabdeckung zu erzielen, umfasst die Oberfläche des Fortbewegungsmittels, welche die Vertiefungen und/oder
15 Erhebungen aufweist, zweckmäßigerweise zumindest einen ersten, im wesentlichen ebenen Bereich und zumindest einen zweiten, im wesentlichen gekrümmten Bereich. Auf diese Weise lässt sich die strukturierte Oberfläche an beliebige Geometrien des Fortbewegungsmittels anpassen.

20 Da typischerweise in dem ebenen und dem gekrümmten Bereich der Oberfläche des Fortbewegungsmittels unterschiedliche Strömungszustände herrschen, unterscheiden sich die Vertiefungen und/oder Erhebungen in diesen Bereichen
25 vorteilhaft in Form und/oder Größe und/oder Anordnung.

In einer besonders bevorzugten Anordnung der Vertiefungen und/oder Erhebungen in einem im wesentlichen ebenen Bereich der Oberfläche des Fortbewegungsmittels bilden die
30 Mittelpunkte dreier direkt benachbarter Vertiefungen und/oder Erhebungen ein gleichseitiges Dreieck, wobei der Abstand der Mittelpunkte zweier benachbarter Vertiefungen und/oder Erhebungen einen im wesentlichen konstanten ersten Wert und der Abstand zweier aufeinanderfolgender Reihen von
35 Vertiefungen und/oder Erhebungen einen im wesentlichen

konstanten zweiten Wert aufweisen. In einem gekrümmten Bereich weist die Oberfläche bevorzugt eine ähnliche Anordnung auf, die die Oberflächenkrümmung berücksichtigt.

- 5 Eine bevorzugte Ausbildung eines erfindungsgemäßen Fortbewegungsmittels umfasst ein Landfahrzeug, insbesondere ein Schienenfahrzeug oder einen Last- oder Personenkraftwagen, mit zumindest einer Aussenhülle, wobei zumindest Teile der Oberfläche der Aussenhülle eine Vielzahl von Vertiefungen
10 und/oder Erhebungen aufweisen.

- Besonders bevorzugt weist die Oberfläche des Fortbewegungsmittels eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen derart auf, dass die Leewalzenbildung
15 reduziert ist gegenüber einem ansonsten identischen Fortbewegungsmittel, dessen Oberfläche eine glatte Struktur aufweist. Dies ist besonders vorteilhaft, wenn das Fortbewegungsmittel als Schienenfahrzeug, insbesondere als Hochgeschwindigkeitszug ausgebildet ist.

- 20 Eine weitere bevorzugte Ausbildung eines erfindungsgemäßen Fortbewegungsmittels umfasst ein Luftfahrzeug, insbesondere ein Flugzeug oder Hubschrauber, mit zumindest einer der Komponenten Aussenhülle, Propeller, Rotor, Turbine,
25 Tragfläche, Lenkfläche oder Leitwerk, wobei zumindest Teile der Oberfläche einer dieser Komponenten eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen aufweisen.

- Eine bevorzugte Ausbildung eines erfindungsgemäßen
30 Fortbewegungsmittels ist auch ein Wasserfahrzeug, umfassend zumindest einen Rumpf und/oder eine Antriebsschraube, wobei zumindest Teile der Oberflächen des Rumpfes und/oder der Antriebsschraube eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen aufweisen.

Darüber hinaus liegen auch beliebige andere Arten von Fortbewegungsmitteln, wie beispielsweise Surfboards, Bob-Schlitten oder Raketen, mit einer Oberfläche, welche eine
5 Vielzahl von Vertiefungen und/der Erhebungen aufweist, im Rahmen der Erfindung.

Besonders bevorzugt wird durch die Oberfläche des Fortbewegungsmittels, welche eine Vielzahl von Vertiefungen
10 und/oder Erhebungen aufweist, gegenüber einem ansonsten identischen Fortbewegungsmittel, dessen Oberfläche eine glatte Struktur aufweist,
- die Schleppwirbelbildung reduziert und/oder
- die Leewalzenbildung reduziert und/oder
15 - der Strömungswiderstand reduziert und/oder
- die Position des Strömungsabrisses relativ zur Bewegungsrichtung des Fortbewegungsmittels nach hinten verschoben und/oder
- die Geräuscentwicklung reduziert und/oder
20 - die Vibrationsentwicklung reduziert und/oder
- die Ablagerung von Partikeln auf der Oberfläche reduziert und/oder
- die Eisbildung auf der Oberfläche reduziert.

25 Dementsprechend umfasst die Erfindung auch die Verwendung einer Oberfläche, welche eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen aufweist, als Oberfläche oder Teil einer Oberfläche eines Fortbewegungsmittels zu einem oder mehreren dieser Zwecke.

30 Weiterhin umfasst die Erfindung eine Schicht, insbesondere ausgebildet als Folie, zum Aufbringen auf eine Oberfläche oder Teile einer Oberfläche eines Fortbewegungsmittels, wobei die Aussenseite der Schicht eine Strukturierung
35 aufweist, die eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder

Erhebungen umfasst. Durch Aufbringen einer solchen Schicht lassen sich die erfindungsgemäßen Vorteile auch durch Nachrüsten herkömmlicher Fortbewegungsmittel erzielen.

- 5 Die Erfindung wird nachstehend anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen und unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert, wobei sich in den einzelnen Zeichnungen gleiche Bezugszeichen auf gleiche oder ähnliche Bestandteile beziehen.

10

Es zeigen

- Figur 1: eine schematische Darstellung einer ersten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Fortbewegungsmittels,
- 15 Figur 2: eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Fortbewegungsmittels,
- Figur 3: eine schematische Darstellung einer dritten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Fortbewegungsmittels,
- 20 Figur 4: eine schematische Darstellung einer Antriebsschraube eines erfindungsgemäßen Fortbewegungsmittels,
- Figur 5: eine schematische Darstellung eines Rotors eines erfindungsgemäßen Fortbewegungsmittels,
- 25 Figur 6: schematisch die Querschnitte zweier Tragflächen,
- Figur 7: schematisch einen mittigen Querschnitt einer ersten Ausführungsform einer Vertiefung bzw. Erhebung senkrecht zur Oberfläche,
- 30 Figur 8: eine schematische Darstellung einer ersten Verteilung von Vertiefungen bzw. Erhebungen,
- Figur 9: schematisch einen mittigen Querschnitt einer zweiten Ausführungsform einer Vertiefung bzw. Erhebung senkrecht zur Oberfläche,

Figur 10: eine schematische Darstellung einer zweiten
Verteilung von Vertiefungen bzw. Erhebungen,

Figur 11: schematisch einen mittigen Querschnitt senkrecht
zu Oberfläche einer dritten Ausführungsform von
5 Vertiefungen bzw. Erhebungen mit der
entsprechenden Draufsicht,

Figur 12: eine schematische Darstellung einer
Ausführungsform einer Oberfläche mit Vertiefungen
bzw. Erhebungen, die ebene und gekrümmte Bereiche
10 aufweist.

Fig. 1 zeigt einen Hochgeschwindigkeitszug 10, dessen
äußere Oberfläche 101 eine Vielzahl von Vertiefungen
15 aufweist. Bei Bewegung des Zuges werden durch den oben
beschriebenen Mechanismus ausgehend von diesen Vertiefungen
sekundäre Vortices in der an der Oberfläche entlang
strömenden Luft erzeugt. Durch diese selbstorganisierenden
Vortexstrukturen wird die Grenzschicht in der Nähe der
20 Oberfläche abgesaugt und in die Hauptströmung geleitet,
wodurch der Strömungswiderstand reduziert und verschiedene
negative Strömungseffekte vermindert werden. Eine besondere
Bedeutung kommt hier insbesondere einer reduzierten
Leewalzenbildung bei Seitenwind zu, die bei herkömmlichen
25 Hochgeschwindigkeitszügen ein großes Problem darstellt.

In Fig. 2 ist ein üblicher Düsenjet 20 gezeigt. In diesem
Ausführungsbeispiel weisen die Oberflächen 201 der
Tragflächen 22 eine Strukturierung mit einer Vielzahl von
30 Vertiefungen und/oder Erhebungen auf. Diese Strukturierung
kann bei der Herstellung der Tragflächen vorgesehen werden
oder auch durch eine nachträglich aufgebrachte Schicht
erzeugt werden, beispielsweise durch Aufbringen einer
Folie, die die Strukturierung aufweist. Die strukturierte
35 Oberfläche kann selbstverständlich mit Vorteil auch auf

weiteren Oberflächen eines solchen Flugzeugs vorgesehen werden, wie beispielsweise des Rumpfes 21, der hinteren Leitwerke 23 und 24 oder der Außenseite der Antriebsaggregate 25. Auch könnten beispielsweise die

5 Turbinenschaufeln der Antriebsaggregate 25 eine erfindungsgemäß strukturierte Oberfläche aufweisen. Vorteilhafte Effekte eines erfindungsgemäßen Luftfahrzeugs sind beispielsweise eine Reduzierung der Schleppwirbelbildung und eine Verbesserung der Stall-Eigenschaften. Die

10 Erfindung reduziert außerdem ein insbesondere bei Überschallflugzeugen auftretendes Problem einer Erhitzung der Aussenhülle durch eine deutliche Verringerung des Oberflächenwiderstandes. Gleichzeitig wird durch die erfindungsgemäße Oberflächenstrukturierung der

15 Wärmeübergang zwischen Oberfläche und Medium verbessert, was ebenfalls zu einer Reduzierung dieses Problems beiträgt.

Fig. 3 zeigt ein Schiff 30, bei dem die unter der

20 Wasserlinie 40 liegende Oberfläche 301 des Rumpfes 31 eine Strukturierung mit einer Vielzahl von Vertiefungen aufweist. Eine erfindungsgemäß strukturierte Oberfläche 331 kann außerdem auch auf den Blättern 34 der Antriebsschraube 33 vorgesehen sein. Dies ist in Fig. 4 nochmals im Detail

25 dargestellt.

Fig. 5 zeigt einen Rotor 50 eines erfindungsgemäßen Hubschraubers mit zwei Rotorblättern 51, deren Oberfläche

30 501 eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen aufweist. Auch in diesem Ausführungsbeispiel können die Strömungseigenschaften auf diese Weise positiv beeinflusst werden. Bei Hubschraubern wirkt sich dies insbesondere durch verbesserten Lift, verbesserte Stall-Eigenschaften und eine Reduzierung der Geräuschentwicklung aus. Auf

gleiche Weise können auch die Stall-Eigenschaften eines Propellers verbessert werden.

Fig. 6 zeigt den Querschnitt eines Profils einer
5 herkömmlichen Tragfläche 26. Das langgezogene Profil ist erforderlich, um einen frühzeitigen Strömungsabriss zu vermeiden, der zu einem Verlust des Auftriebs führen würde. Weist jedoch die Oberfläche einer Tragfläche eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen auf, verschiebt sich
10 der Punkt des Strömungsabrisses entlang der Strömungsrichtung nach hinten, wodurch völlig neue Tragflächenprofile ermöglicht werden. Ein solches Profil 27 ist in Fig. 6 beispielhaft, zum Vergleich über das herkömmliche Profil 26 gelegt, dargestellt. Durch solch
15 neuartige Tragflächenprofile kann der Auftrieb signifikant erhöht beziehungsweise bei gleichem Auftrieb die Dimensionen der Tragfläche deutlich verringert werden.

Figur 7 zeigt einen mittigen Querschnitt einer bevorzugten
20 Form einer Vertiefung 602 senkrecht zu einer ebenen Oberfläche. Die Vertiefung 602 in diesem Ausführungsbeispiel hat die Form eines Abschnitts einer Kugel bzw. einer Kugelkalotte mit Radius R_1 , Höhe h und Durchmesser d , und ist mit einem Abrundungsradius R_2
25 abgerundet. Eine Vertiefung ist in diesem Beispiel rotationssymmetrisch zu einer Rotationsachse durch den Mittelpunkt der Vertiefung senkrecht zur Oberfläche.

In Fig. 8 ist eine bevorzugte Verteilung der
30 Vertiefungen 602 auf einer ebenen Oberfläche dargestellt. Die Vertiefungen 602 sind periodisch angeordnet, wobei die Mittelpunkte dreier direkt benachbarter Vertiefungen 602 ein gleichseitiges Dreieck bilden. Der Winkel α beträgt daher 60° . Der Abstand der Mittelpunkte zweier benachbarter

Vertiefungen 602 und damit die Seitenlänge des genannten Dreiecks beträgt t_2 . Der Abstand zweier aufeinanderfolgender Reihen von Vertiefungen 602 und damit die Höhe des genannten Dreiecks beträgt t_1 . t_1 und t_2 können je nach Einsatzzweck unterschiedliche Werte aufweisen.

Figur 9 zeigt einen mittigen Querschnitt einer weiteren bevorzugten Form einer Vertiefung 702 senkrecht zu einer ebenen Oberfläche. Die Vertiefung 702 in diesem Ausführungsbeispiel hat die Form eines Abschnitts eines Ellipsoids mit den Durchmessern E_1 , E_2 und E_3 , wobei E_3 senkrecht zur Zeichenebene liegt und dementsprechend nicht dargestellt ist. Die Vertiefung weist eine Höhe h und einen Durchmesser d auf und ist mit einem Abrundungsradius R_3 abgerundet.

In Fig. 10 ist eine bevorzugte Verteilung der Vertiefungen 702 auf einer ebenen Oberfläche dargestellt. Diese entspricht im wesentlichen der in Fig. 8 für die Vertiefungen 602 dargestellten Anordnung.

Weitere vorteilhafte Formen und Anordnungen der Vertiefungen und/oder Erhebungen sind den Anmeldungen EP 92 911 873.5, PCT RU92/00106 und EP 96 927 047.9, PCT/EP96/03200 zu entnehmen. Dementsprechend weist die Oberfläche vorteilhaft eine dreidimensionale Struktur auf, wie sie beispielhaft in Fig. 11 schematisch dargestellt ist, mit Vertiefungen oder Erhebungen 802, gekrümmten Gebieten und Übergangsbereichen. In dem im oberen Bereich der Fig. 11 dargestellten Querschnitt der Oberfläche erstrecken sich die Vertiefungen bzw. Erhebungen entlang deren Durchmesser d , die gekrümmten Gebiete entlang der Strecke l_c und die Übergangsbereiche entlang der Strecke l_{tr} . Der Abstand zweier Vertiefungen ist wiederum mit t_2 bezeichnet.

Ein beliebiger Abschnitt der Vertiefungen oder Erhebungen
 802 entlang der Oberfläche hat die Gestalt einer glatten
 und durchgehenden Linie, die durch folgende Beziehung
 5 beschreibbar ist:

$$r(\varphi, z) = \left(\frac{z}{h} \right)^k \left[r(h, 0) - \frac{l_c}{2} + \Delta r \left(\frac{\varphi}{180^\circ} - \frac{1}{4\pi} \sin \frac{4\pi\varphi}{180^\circ} \right) + \right. \\ \left. + A_1 \Delta r \left(\sin \frac{\pi\varphi}{180^\circ} - \frac{1}{3} \sin \frac{3\pi\varphi}{180^\circ} \right) + A_2 \Delta r \left(\sin \frac{2\pi\varphi}{180^\circ} - \frac{1}{2} \sin \frac{4\pi\varphi}{180^\circ} \right) \right], \quad (1)$$

10 worin:

- $r(\varphi, z)$ der Abschnittsradius in Richtung des Winkels φ (in Winkelmaß) ist, der von der Strecke aus, die die Zentren von benachbarten Vertiefungen und/oder Erhebungen verbindet oder von einer beliebigen Strecke aus, die in dem
- 15 gekennzeichneten Abschnitt liegt, zu zählen ist;
- z die Abschnittshöhe über dem niedrigsten Punkt der Vertiefungen ist oder der Abschnittsabstand vom höchsten Punkt der Erhebungen ist;
- $r(h, 0)$ der Radius des Vertiefungs- oder
- 20 Erhebungsabschnitts in Richtung des Winkels $\varphi = 0^\circ$ ist;
- $\Delta r = r(h, 180^\circ) - r(h, 0^\circ)$ die Differenz zwischen den Radien des Vertiefungs- oder des Erhebungsabschnitts in Richtung der Winkel $\varphi = 180^\circ$ und $\varphi = 0^\circ$ ist;
- l_c die Abmessung des gekrümmten Bereichs projiziert auf
- 25 eine Ebene, die parallel zur Ebene der Oberfläche verläuft, ist;
- k ein Koeffizient ist mit $0,3 < k < 0,7$;
- A_1 ein Koeffizient ist mit $-1 < A_1 < 1$;
- A_2 ein Koeffizient ist mit $-1 < A_2 < 1$; und
- 30 - h die Tiefe bzw. Höhe der Vertiefungen bzw. Erhebungen ist.

In den gekrümmten Gebieten sind die Vertiefungen bzw. Erhebungen vorteilhaft mit einem Abrundungsradius von $R > 3 \cdot h$ zu den Übergangsbereichen hin abgerundet.

5

Vorteilhaft liegt der Wert von h zwischen dem 0,005- und dem 0,3-fachen der Dicke der Grenzschicht. Mit d dem Durchmesser der Vertiefungen oder Erhebungen gelten außerdem vorzugsweise die folgenden Beziehungen:

10

$$\begin{aligned} 2 \cdot h < d < 40 \cdot h, \text{ insbesondere } 2 \cdot h < d < 10 \cdot h, \\ 0,3 \cdot d < l_c < 0,5 \cdot d \text{ und} \\ 0,05 \cdot d < l_r < 3 \cdot d. \end{aligned}$$

15 Die in Gleichung (1) enthaltenen Parameter können abhängig von der Art des Mediums, der Form und den Dimensionen der Oberfläche, der Strömungsgeschwindigkeit, der Temperatur des Mediums und der Oberfläche, sowie weiteren die Strömung beeinflussenden Faktoren unterschiedlich gewählt werden.

20

Fig. 12 zeigt eine Oberfläche, die zumindest einen ebenen Bereich 601 und einen gekrümmten Bereich 901 aufweist. Wird eine solche Oberfläche von einem Medium umströmt, ist es aufgrund unterschiedlicher Strömungszustände in den unterschiedlichen Bereichen vorteilhaft, wenn sich die Vertiefungen bzw. Erhebungen 602 in dem ebenen Bereich 601 in Form und/oder Größe und/oder Anordnung von den Vertiefungen bzw. Erhebungen 902 in dem gekrümmten Bereich 901 unterscheiden. Auch kann dies allein aus geometrischen Gründen erforderlich sein, da bei einer starken Krümmung der Oberfläche beispielsweise eine sinnvolle Größe der Vertiefungen bzw. Erhebungen beschränkt ist.

30

- Die Figuren 13 a und 13 b zeigen das Modell eines Zuges mit einer Oberfläche, welche eine Vielzahl von Vertiefungen aufweist. Die Form der in diesem Modell verwendeten Vertiefungen entspricht im wesentlichen den in Fig. 7
- 5 dargestellt, angepasst an die Krümmung der Oberfläche. Zu erkennen ist auch eine Variation in Größe und Verteilung der Vertiefungen zwischen unterschiedlich gekrümmten Bereichen der Oberfläche.
- 10 Die Strömungseigenschaften dieses Modells wurden in einem Windkanal gemessen. Dabei ergab sich ein um 16% reduzierter Oberflächenwiderstand, sowie eine deutlich reduzierte Leewalzenbildung. Weiterhin ergaben Messungen in einem Medium, das turbulente Strömungen aufwies, eine
- 15 signifikante Reduzierung der Vibrationsentwicklung.

Patentansprüche

1. Fortbewegungsmittel (10, 20, 30) mit zumindest einer
Oberfläche (101, 201, 301), entlang der bei Bewegung des
5 Fortbewegungsmittels (10, 20, 30) ein umgebendes Medium
strömt, wobei die zumindest eine Oberfläche (101, 201, 301)
eine Strukturierung aufweist, die eine Vielzahl von
Vertiefungen und/oder Erhebungen (602, 702, 802, 902)
umfasst.
- 10 2. Fortbewegungsmittel (10, 20, 30) nach Anspruch 1, wobei
die zumindest eine Oberfläche (101, 201, 301) derart
ausgebildet ist, dass sich in der Nähe der zumindest einen
Oberfläche (101, 201, 301) Vortices in dem umgebenden
15 Medium bilden, wenn das Medium an der zumindest einen
Oberfläche (101, 201, 301) entlang strömt.
3. Fortbewegungsmittel (10, 20, 30) nach einem der
vorstehenden Ansprüche, wobei die Vertiefungen und/oder
20 Erhebungen (602, 702, 802, 902) im Bereich des Randes zum
Rest der Oberfläche (101, 201, 301) hin abgerundet sind.
4. Fortbewegungsmittel (10, 20, 30) nach einem der
vorstehenden Ansprüche, wobei die Vertiefungen und/oder
25 Erhebungen (602, 702) im wesentlichen die Form eines
Abschnitts einer Kugel oder eines Ellipsoids aufweisen.
5. Fortbewegungsmittel (10, 20, 30) nach einem der
vorstehenden Ansprüche, umfassend eine Einrichtung zum
30 Variieren der Form und/oder der Anzahl der Vertiefungen
und/oder Erhebungen (602, 702).
6. Fortbewegungsmittel (10, 20, 30) nach einem der
vorstehenden Ansprüche, wobei die Vertiefungen und/oder
35 Erhebungen (602, 702, 802, 902) zumindest abschnittsweise

im wesentlichen periodisch auf der zumindest einen Oberfläche (101, 201, 301) angeordnet sind.

5 7. Fortbewegungsmittel (10, 20, 30) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die zumindest eine Oberfläche (101, 201, 301) zumindest einen ersten, im wesentlichen ebenen Bereich (601) und zumindest einen zweiten, im wesentlichen gekrümmten Bereich (901) umfasst.

10 8. Fortbewegungsmittel (10, 20, 30) nach Anspruch 7, wobei sich die Vertiefungen und/oder Erhebungen (602, 902) in dem zumindest einen ersten Bereich (601) und in dem zumindest einen zweiten Bereich (901) in Form und/oder Größe und/oder Anordnung unterscheiden.

15 9. Fortbewegungsmittel (10, 20, 30) nach Anspruch 7 oder 8, wobei zumindest in dem zumindest einen ersten, im wesentlichen ebenen Bereich (601) der zumindest einen Oberfläche (101, 201, 301) die Mittelpunkte dreier direkt
20 benachbarter Vertiefungen und/oder Erhebungen (602) ein gleichseitiges Dreieck bilden und der Abstand der Mittelpunkte zweier benachbarter Vertiefungen und/oder Erhebungen (602) einen im wesentlichen konstanten ersten Wert (t_2) und der Abstand zweier aufeinanderfolgender
25 Reihen von Vertiefungen und/oder Erhebungen (602) einen im wesentlichen konstanten zweiten Wert (t_1) aufweisen.

10. Fortbewegungsmittel (10) nach einem der vorstehenden Ansprüche, ausgebildet als Landfahrzeug, insbesondere als
30 Schienenfahrzeug oder als Last- oder Personenkraftwagen, umfassend zumindest eine Aussenhülle, wobei zumindest Teile der Oberfläche (101) der Aussenhülle eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen aufweisen.

11. Fortbewegungsmittel (10) nach Anspruch 10, wobei durch die zumindest eine Oberfläche (101), welche eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen aufweist, die Leewalzenbildung reduziert ist gegenüber einem ansonsten identischen Fortbewegungsmittel, bei dem die zumindest eine Oberfläche eine glatte Struktur aufweist.

12. Fortbewegungsmittel (20) nach einem der vorstehenden Ansprüche, ausgebildet als Luftfahrzeug, insbesondere als Flugzeug oder Hubschrauber, umfassend zumindest eine Aussenhülle und/oder einen Propeller und/oder einen Rotor und/oder eine Turbine und/oder eine Tragfläche und/oder eine Lenkfläche und/oder ein Leitwerk, wobei zumindest Teile der Oberflächen (201) der Aussenhülle und/oder des Propellers und/oder des Rotors und/oder der Turbine und/oder der Tragfläche und/oder der Lenkfläche und/oder des Leitwerks eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen aufweisen.

13. Fortbewegungsmittel (30) nach einem der vorstehenden Ansprüche, ausgebildet als Wasserfahrzeug, umfassend zumindest einen Rumpf (31) und/oder eine Antriebsschraube (33), wobei zumindest Teile der Oberflächen (301) des Rumpfes (31) und/oder der Antriebsschraube (33) eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen aufweisen.

14. Fortbewegungsmittel (10, 20, 30) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei durch die zumindest eine Oberfläche (101, 201, 301), welche eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen (602, 702, 802, 902) aufweist, gegenüber einem ansonsten identischen Fortbewegungsmittel, bei dem die zumindest eine Oberfläche eine glatte Struktur aufweist,

- die Schleppwirbelbildung reduziert ist und/oder
- die Leewalzenbildung reduziert ist und/oder

- der Strömungswiderstand reduziert ist und/oder
- die Position des Strömungsabrisses relativ zur Bewegungsrichtung des Fortbewegungsmittels (10, 20, 30) nach hinten verschoben ist und/oder
- 5 - die Geräuschentwicklung reduziert ist und/oder
- die Vibrationsentwicklung reduziert ist.

15. Fortbewegungsmittel (10, 20, 30) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Ablagerung von Partikeln
10 auf der zumindest einen Oberfläche (101, 201, 301), welche eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen aufweist, reduziert ist gegenüber einer glatten Oberfläche, wenn ein Medium an der Oberfläche entlang strömt.

15 16. Fortbewegungsmittel (10, 20, 30) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Eisbildung auf der zumindest einen Oberfläche (101, 201, 301), welche eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen aufweist, reduziert ist gegenüber einer glatten Oberfläche, wenn ein
20 Medium an der Oberfläche entlang strömt und die Oberfläche eine niedrigere Temperatur als das Medium aufweist.

17. Verwendung einer Oberfläche, welche eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen aufweist, als Oberfläche
25 (101, 201, 301) eines Fortbewegungsmittels (10, 20, 30) zum

- Reduzieren der Schleppwirbelbildung und/oder
- Reduzieren der Leewalzenbildung und/oder
- Reduzieren des Strömungswiderstandes und/oder
- Verschieben der Position des Strömungsabrisses nach
- 30 hinten relativ zur Bewegungsrichtung des Fortbewegungsmittels (10, 20, 30) und/oder
- Reduzieren der Geräuschentwicklung und/oder
- Reduzieren der Vibrationsentwicklung und/oder
- Reduzieren von Partikelablagerungen, wenn ein Medium an
- 35 der Oberfläche entlang strömt, und/oder

- Reduzieren von Eisbildung, wenn ein Medium an der Oberfläche entlang strömt.

18. Schicht, insbesondere Folie, zum Aufbringen auf eine
5 Oberfläche oder Teile einer Oberfläche eines Fortbewegungsmittels, wobei die Aussenseite der Schicht eine Strukturierung aufweist, die eine Vielzahl von Vertiefungen und/oder Erhebungen umfasst.

Fig. 1

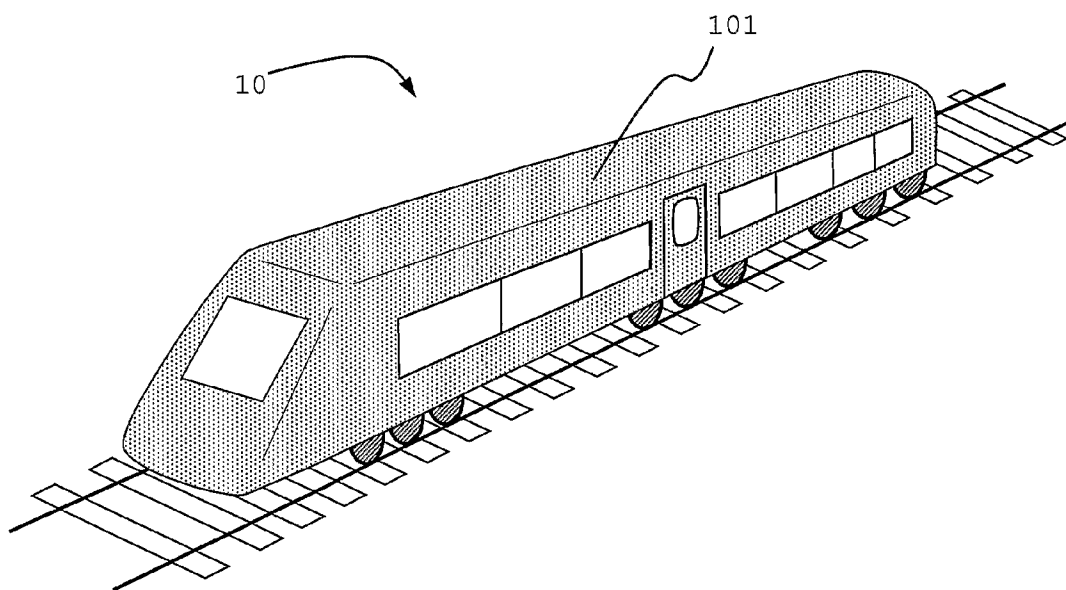


Fig. 2

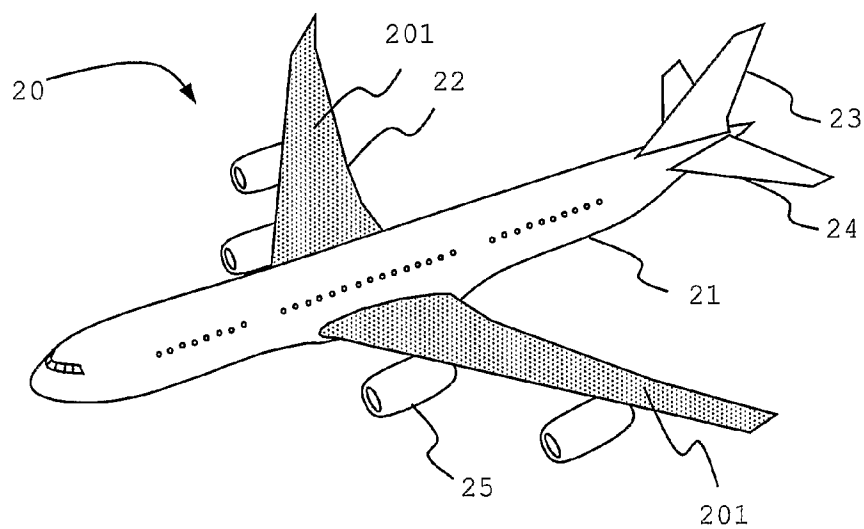


Fig. 3

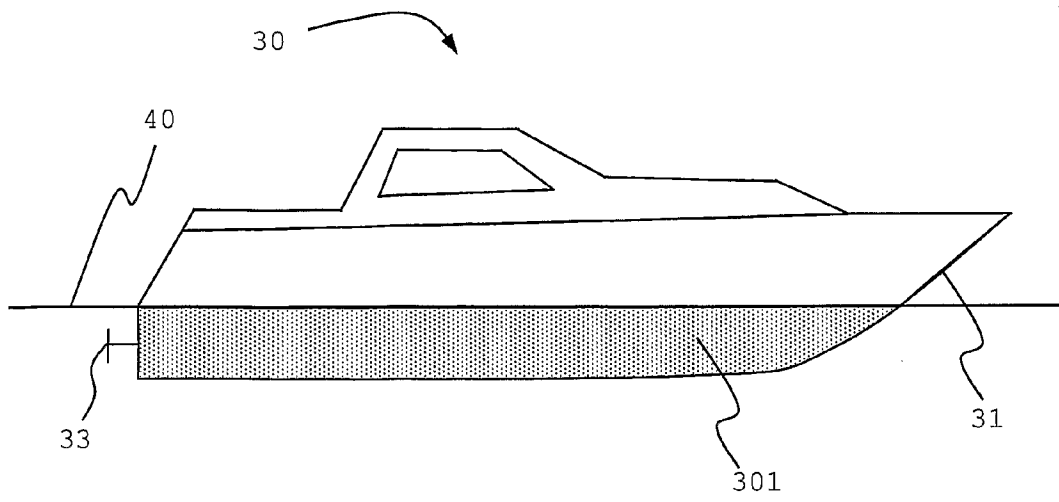


Fig. 4

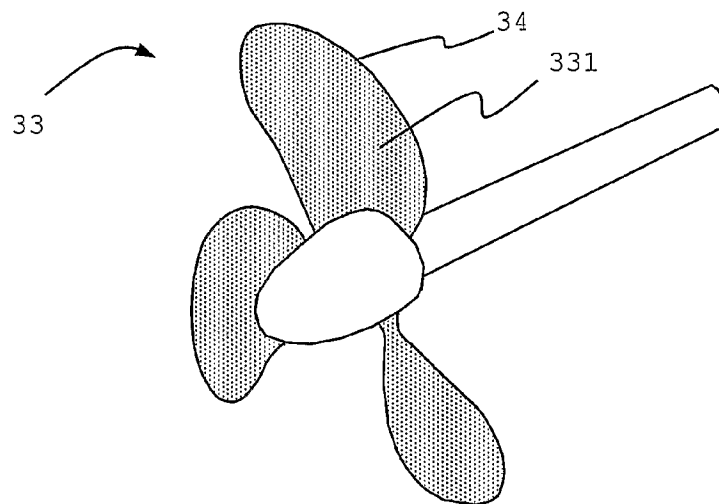


Fig. 5

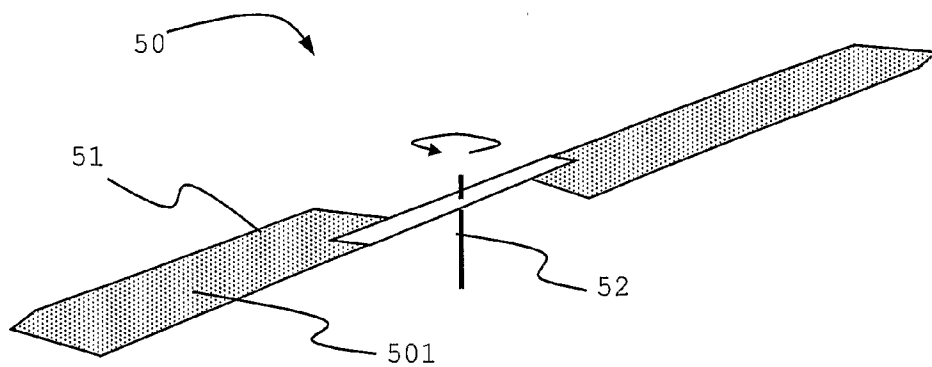


Fig. 6

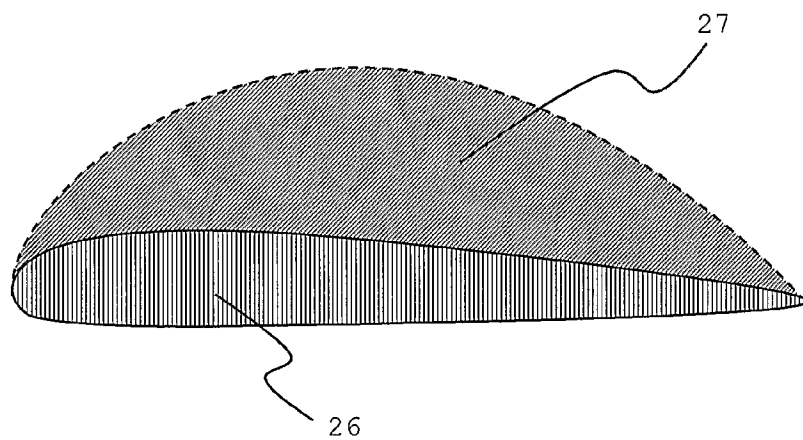


Fig. 7

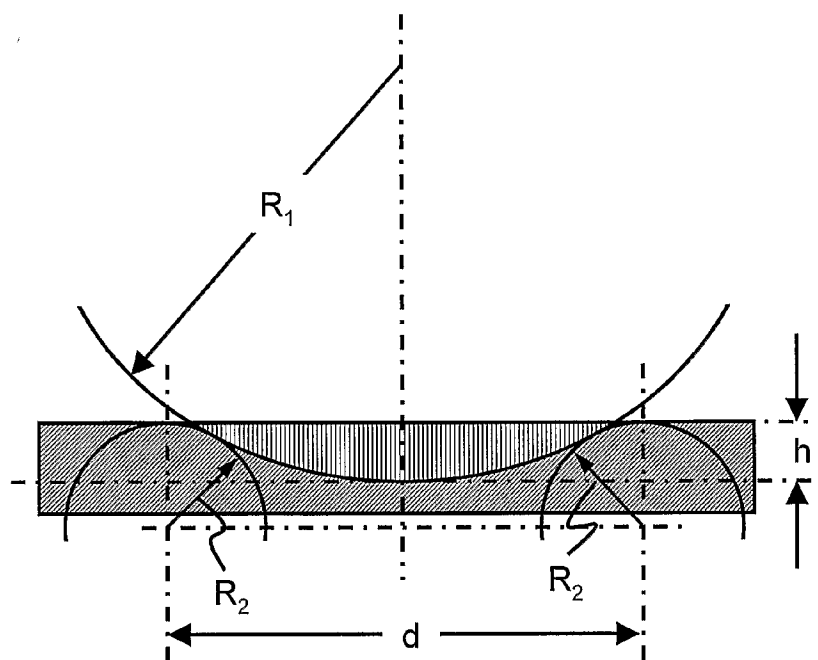


Fig. 8

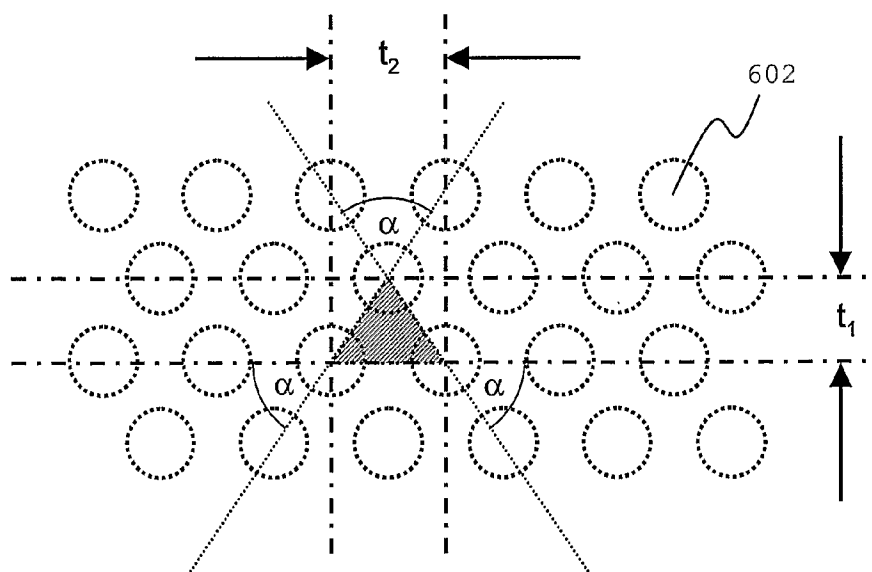


Fig. 9

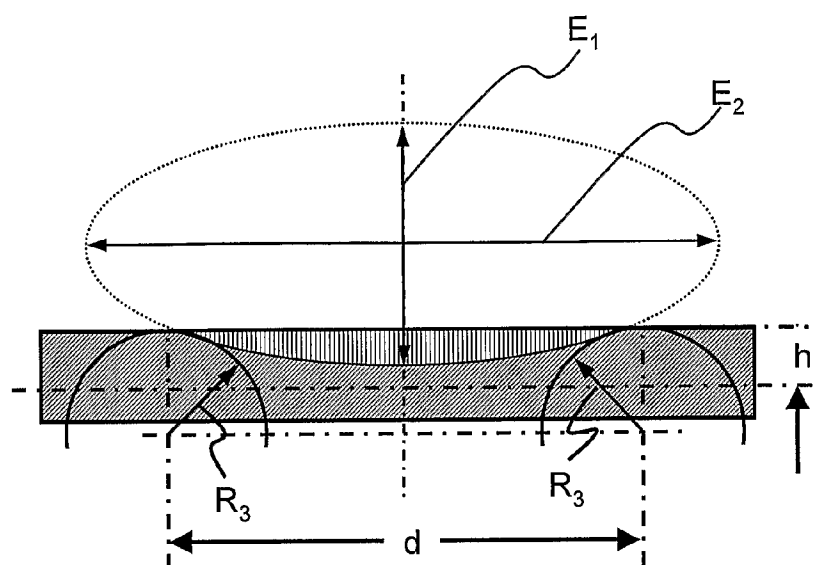


Fig. 10

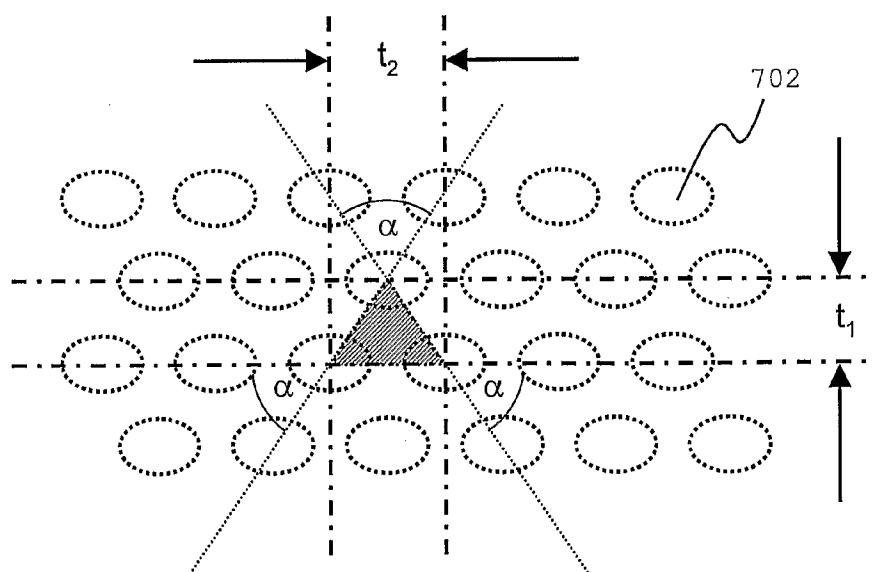


Fig. 11

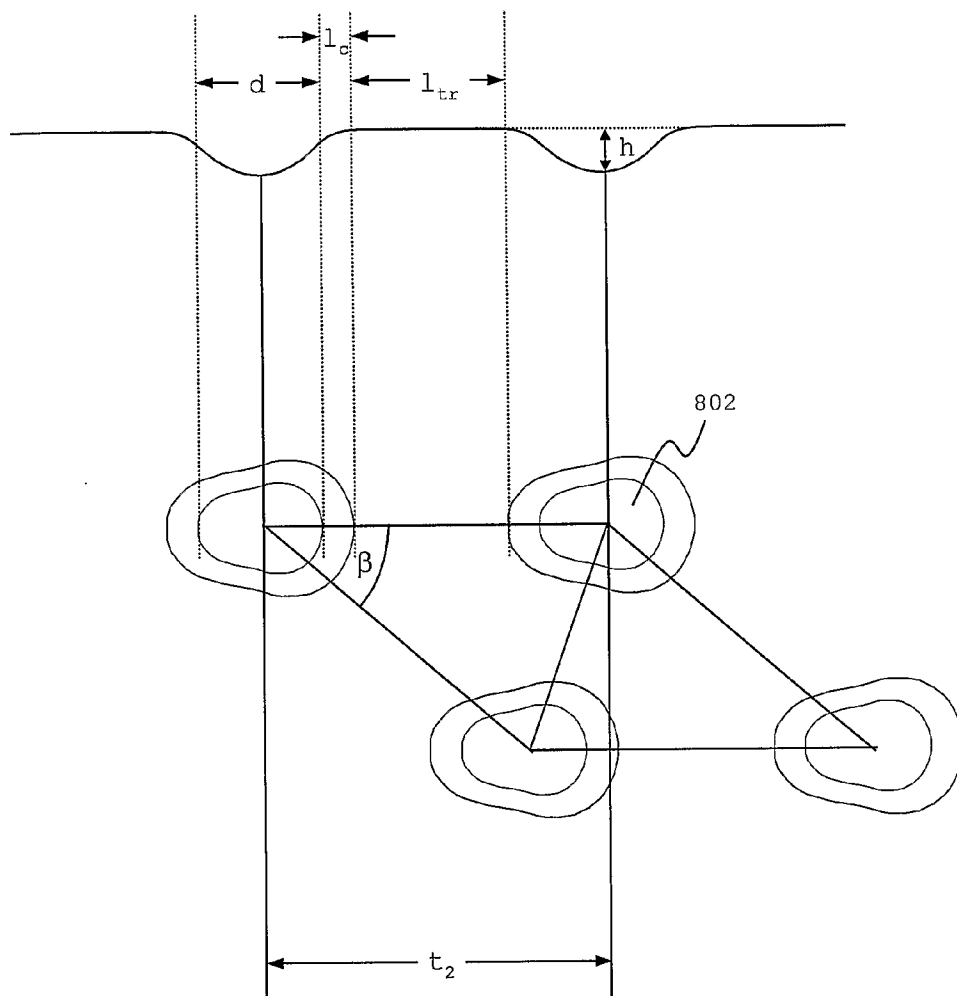


Fig. 12

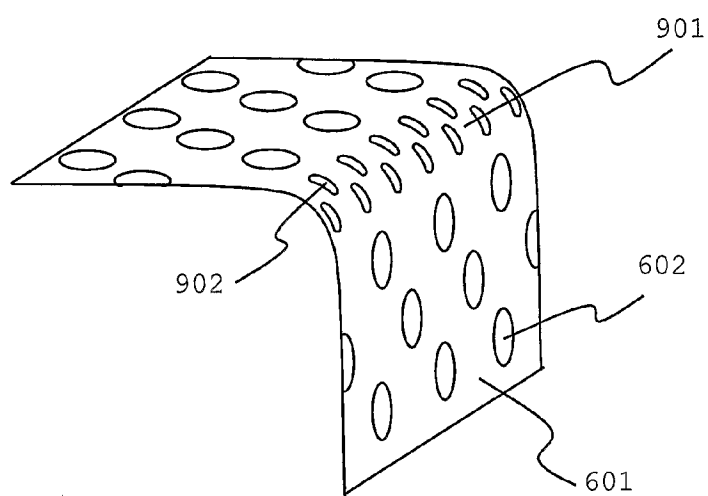


Fig. 13 a

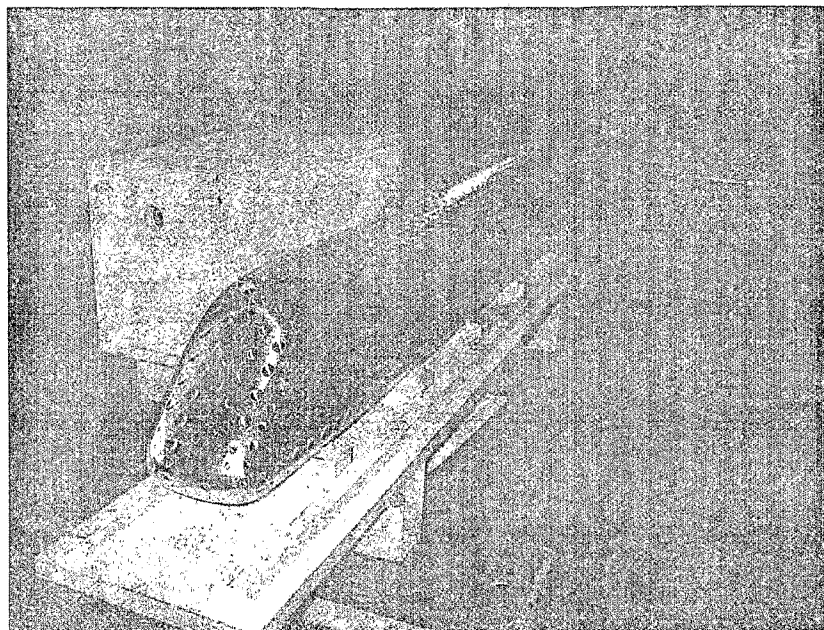


Fig. 13 b

